



# 土木計画学における空間計量経済モデルの実用化に関する研究

著者	堤 盛人
発行年	2011
その他のタイトル	Practical Applications of Spatial Econometrics to Infrastructure Planning
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/115092">http://hdl.handle.net/2241/115092</a>

機関番号：12102

研究種目：基盤（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560485

研究課題名（和文） 土木計画学における空間計量経済モデルの実用化に関する研究

研究課題名（英文） Practical Applications of Spatial Econometrics to Infrastructure Planning

研究代表者

堤 盛人（TSUTSUMI MORITO）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号：70292886

研究成果の概要（和文）：

土木計画学における政策分析・予測・評価やそのためのモデリングにおいて、社会科学的な空間データを統計学的なアプローチによって扱う学問分野の一つである『空間計量経済学』の手法を適用する上での課題と解決策を提示し、空間効果（空間的自己相関・不均一分散）の多面的な実証分析を示した。本研究では、特に、(1) 社会資本整備や環境質の便益評価 (2) 新古典派成長モデルに基づく所得格差分析 (3) 市町村合併によるデータ数減少への対処 に関して実用化への方向性に関する知見を得た。

研究成果の概要（英文）：The study refers to the limitations of the spatial econometrics approach, which is a subfield of statistics that deals with the treatment of spatial socio-economic data, to empirical modeling for policy analysis, forecasting and evaluation in infrastructure planning. Then, the study presents empirical analyses with regard to the so-called spatial effects (spatial autocorrelation and heteroscedasticity) based on the spatial econometrics approach. The study focuses on (1) project benefits evaluation, (2) analysis on regional income disparities based on the neoclassical growth model, and (3) change in the areal unit for statistical data brought about by municipal mergers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総 計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：土木計画学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：土木計画学 空間計量経済学 空間統計学

## 1. 研究開始当初の背景

土木計画学における政策分析・予測・評価やそのためのモデリングにおいては、様々な空間データを扱う必要があり、結果の客観性・透明性を担保するために、常に関連の学問分野における最先端の研究成果を取り入れる努力を払わなければならない。空間データに内在する特質とこれに対する統計学的な対処の必要性に関しては、比較的以前から

土木計画学においてもその重要性が認識されている。

社会科学的な空間データを統計学的なアプローチによって扱う学問分野として、計量地理学の流れを汲む『空間計量経済学：Spatial Econometrics』があり、特にここ数年、実用化に向けて目覚ましい進歩を遂げている。しかしながら、実証研究という意味ではまだまだその例は限られており、とりわけ

我が国での実証研究は未だ数える程しかなく、土木計画学の分野で空間計量経済学を基礎としたモデル（以下、「空間計量経済モデル」と称する）が実用的に用いられるには至っていない。

土木計画の実務においては、現象分析に加えて、プロジェクトの効果分析など、何らかの「予測」の作業を伴うことが必要とされる場合が多い。これに対し、空間計量経済モデルは、そのままではモデルの同定に用いていない点の予測ができないという問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、土木計画学における空間計量経済モデルの実用化を念頭に、まず、実際にどのような場面でのモデルの適用に対するニーズや期待が大きいのか、あるいはどのような課題が残されているかを明らかにする。

空間計量経済モデルの特徴の一つに、空間的な相関を表すために用いられる空間重み行列（Spatial Weight Matrix） $W$ を用いる点がある。これが、統計学的な意味での「予測（prediction）」を困難にしているという問題がある。そこで、便益計測を例に、この予測の問題への対応について理論的な検討を行うこととする。

さらに、空間計量経済モデルの有用性を示すために、我が国を対象とした所得格差の分析へ適用する。

## 3. 研究の方法

学術雑誌等における研究を中心に、これまでの空間計量経済モデルの実証研究をレビューし、特に我が国での土木計画学での実用化を念頭に、使用しているデータの特性や地理的構造・都市構造などの空間的特性などの面から、既存研究の情報を整理した。

その結果、空間計量経済モデルの実証研究としては、ヨーロッパを中心として所得格差に関する研究が多い反面、我が国での適用は皆無に近いことが明らかとなった。また、近年、特に不動産の価格・賃料評価における適用事例が増えていることも分かった。

後者については、これまでも土木計画学の分野では、環境質などの非市場財の価値の計測や、社会資本整備プロジェクトがもたらす便益を計測する手法の一つである資産価値法において、土地や住宅といった資産を対象としたヘドニック・アプローチが用いられることが多いものの、便益計測において、ヘドニック価格関数の推定に空間計量経済学モデルを用いることの理論的課題が明らかとなっており、実証事例も皆無であることが明らかとなった。

以上のことを踏まえ、まず、以下の二つを主な対象として研究を行った。

### (1) 社会資本整備や環境質の便益計測における空間計量経済モデルの適用

社会資本整備や環境質の便益評価に空間ヘドニック・アプローチを適用することに関し、空間計量経済学と地球統計学の両方の学問分野を俯瞰するとともに、実際のデータを用いた実証的考察を行うことでその課題を明らかにした。理論面では空間計量経済学の限界を明らかにし、その前提である離散的な観測地点配置と整合的な便益算出の手順を示すこととした。次に、実証面では、空間計量経済モデルを用いることによって、便益の評価額に政策分析上どの程度の相違が生じるのかを、実際のデータを用いて試算することとした。

### (2) 所得格差分析における空間計量経済モデルの適用

我が国における新古典派成長モデルに基づく所得格差に関する実証研究をレビューしたところ、ほとんどが都道府県単位を分析対象としており、いずれもいわゆるバブル期以前を対象としていることが分かった。

そこで、本研究は全国の市区町村を分析対象とし、バブル期及びその崩壊以後を対象として、空間計量経済モデルを用いた所得格差分析を行うこととした。特に、クロスセクションデータを用いた分析においては、データの空間的な異質性と依存性の両方を考慮することが重要であるため、それらを考慮した分析技法を示し、実際のデータを用いた計量分析を行うこととした。

さらに、(2)の研究を進める過程で、いわゆる平成の大合併により、我が国の市町村単位の統計データの集計区分が大きく変わり、特に異時点のデータを用いた分析において、集計単位の統一に関する何らかの工夫が必要となるという問題に直面した。分析の対象期間中に市町村合併が起こった場合、通常は、合併後のより大きな市町村を単位とした集計に基づき分析が行われる。しかしながら、この方法では、より細かい集計単位である合併前の市町村を単位としたデータが持っている情報の一部を失う可能性が高い。

そこで、本研究では、空間計量経済モデルを用いて、合併前の市町村を集計単位とした分析を行うためのデータ補間方法を提案し、その実用可能性について検討を行うこととした。

## 4. 研究成果

### (1) 便益計測への空間計量経済モデルの適用

空間計量経済学の分野において空間的自己相関を考慮するモデルは、データ間の未知

の依存関係を、従属変数同士の自己相関関係として捉える Spatial Lag Model (SLM) と誤差項同士の自己相関関係として捉える Spatial Error Model (SEM) に大別される。

SLM は、空間的・社会的な相互作用の結果起こる「均衡」をモデル化するものである。一時点のクロスセクションデータでは、実際に生じた空間的・社会的な相互作用は観測できないが、相互作用の結果至った「均衡」における相関構造をモデル化することは可能である。

これに対し、SEM は、モデルから抜け落ちたデータ間の外部効果や波及効果の結果生じる、誤差項同士の空間的な自己相関関係をモデル化しようとするものである。実際のヘドニック価格関数の推定においては、すべての要因を説明変数としてモデルに取り入れることは不可能であるため、結果として残差に空間的な自己相関が生じることが多い。最もよく用いられるのは Spatial Autoregressive Error Model (SAEM) などと呼ばれる自己回帰型のモデルである。

Small and Steimetz (2007) によれば、SLM の限界便益は、不動産データの依存関係の背後にある空間的な外部性の捉え方、すなわち、「なぜ地点  $i$  における不動産価格が、その近隣  $j$  の不動産価格から影響を受けるか」という点の理由づけによって異なる。

第一の理由づけは、空間的な外部性が金銭的外部性によるものである。これは例えば、不動産  $j$  の資産価値の上昇が単に移転されることによって、不動産  $i$  は何らアメニティの向上なしに資産価値が向上する場合をいう。第二の理由づけは、空間的外部性が技術的外部性によるものである。これは、例えば、ある不動産  $j$  の管理状態が良いため、近隣の不動産  $i$  の需要者は、不動産  $j$  の近隣に位置することから効用を得る場合をいう。

ここで、SLM の背景にある外部性が技術的外部性であるとき、限界便益は spatial multiplier (空間乗数) を用いて表される。一方、金銭的外部性の場合、ある地点  $i$  における不動産需要者の効用関数は、近隣  $j$  の不動産価格に依存しないため、限界便益は、従来のヘドニック・アプローチと同じとなる。

一方、SEM は、誤差項において空間的自己相関を考慮するモデルであるため、限界便益は空間的相関を明示的に考慮しない通常の回帰式 (Basic Model (BM)) と同様に与えられる。

空間計量経済モデルは離散的な観測地点を前提としており、その地点における観測値間の空間相関関係を重み行列  $W$  で記述するモデルである。したがって、観測点以外の地点の存在は前提としておらず、このような地点を想定することは、 $W$  の構造変化、すなわ

ち空間的な均衡状態 (spatial equilibrium) の崩壊を意味する。このような場合、 $W$  の下で推定されたパラメータ推定値はもはや意味をなさなくなる。

したがって、観測点とは別に新たに代表点を設ける方法は、空間計量経済モデルの前提と整合しない。空間計量経済モデルの前提と整合的な便益評価を行うためには、観測地点間の空間的な均衡状態を維持したままで便益評価を行うことが必要である。このような目的を達成する最も素朴な方法として、観測地点を母点として領域をボロノイ分割するという方法が考えられる。この方法であれば、新たに代表点を設ける必要が無い場合、均衡状態における地点間の影響関係が保持される。また、従属変数を対数変換した際に代表点における従属変数が必要になるという問題も生じない。もちろん、領域の分割方法はもちろんボロノイ分割に限られたものではなく、 $W$  の構造変化を引き起こさない分割手法であればよい。

以上のように、空間ヘドニック・アプローチとして空間計量経済学のモデルを用いる場合には、その前提である離散的な観測地点という概念と整合的な便益算出手法が必要であることを論じ、これを示した。

次に、本研究では、実際のデータを用いた実証分析の結果を示して適用のあり方を議論する目的で、東京都台東区秋葉原と茨城県つくば市を最短 45 分で結ぶ高速都市鉄道として、2005 年に開通した「つくばエクスプレス (TX)」を対象とした便益の試算を行った。ここでは住宅市場を対象とし、分析に用いる 1999 年度の公示地価は、国土交通省国土計画局の『国土数値情報』より入手した。住宅用途の観測地点数は 1,074 点である。

分析の結果、SAEM では、空間的な相関を考慮しない BM に比べて約 30% 程度 (約 1 兆円) とかなり小さい便益額を示した。すなわち、残差の空間的な相関を考えることで、説明変数に掛かるパラメータの絶対値が小さくなり、その結果、便益が小さく推計された。一方で、空間的自己相関の考慮における誤差項の構造化の方法 (間接: SAEM, 直接: SPM) は、便益額にそれほど大きな影響を与えないという結果が得られた。

ヘドニック・アプローチは、我が国においては、既に、市街地再開発事業や住宅市街地総合整備事業における便益評価手法として定着してきている。本研究では、理論面では空間計量経済学の限界を明らかにし、その前提である離散的な観測地点配置と整合的な便益算出の手順が必要であることを示した。また、実証面では、空間計量経済モデルを用いることによって、便益の評価額に政策分析上無視できない程度の相違が生じる可能性を示した。本研究で、それらの評価における

空間計量経済モデルの適用上の注意点が明らかとなったことの実務的意義は大きい。

## (2) 所得格差分析における空間計量経済モデルの適用

地域間格差に関する分析の一つの代表的な枠組みとしては、いわゆる新古典派成長モデルが挙げられる。新古典派成長モデルでは、「所得が低い地域は、所得が高い地域より早く成長する」という仮説に基づいて統計モデルを構築し、パラメータの有意性を検定する。90年代以降、新古典派成長モデルの構築・同定は、統計学的に精緻化され、地域の異質性を考慮するためのパネルデータの使用、空間的自己相関（空間的依存性）の考慮、といった試みが行われている。新古典派成長回帰分析では、成長率を従属変数にするため、コントロール変数で説明しきれない要因が多く、結果的に外れ値や残差分散の不均一が生じることが多い。したがって、パネルデータを用いることによって、地域の特殊性をコントロールする試みが行われている。しかしながら、いうまでもなくパネルデータにはコントロール変数を含むデータセットの入手可能性という点に大きな制約がある。そこで本研究では、クロスセクションデータにおいて不均一分散を考慮する方法を用いることとした。具体的には、経済理論と整合的なモデルとして、空間ダービンモデル (Spatial Durbin Model (SDM)) を援用したモデルを構築した。

所得データとしては、総務省自治税務局の市町村税課税状況等の調を元に作成された、89年～07年における『人口一人当たり所得額』（千円）を用いた。物価変動の影響を考慮するために、使用するデータは総務省の消費者物価指数でデフレートした（05年を1に基準化）。

まず、予備的な分析の結果、初期時点において所得の高い東京や大阪都市圏において低い成長率となっていることが確認できた。しかし一方で、00～07年の成長率では、逆に東京や大阪都市圏で成長率が高くなっており、近年我が国において地域間格差が拡大傾向にあることが伺えた。また、所得の空間分布図から、似通った成長率の市区町村がクラスターを形成しており、空間的自己相関の存在が示唆された。

次に、コントロール変数として、初期時点の人口密度（千人/km<sup>2</sup>）、平均年齢（歳）、第三次産業従事者の割合（%）、地方ダミー（北海道、東北、関東、中部、近畿、中国/四国）を用いてSDMを構築した。

ベイズ推定を用いたパラメータ推定の結果、コントロール変数はそれぞれ有意となり、平均年齢や第三次産業割合が低いこと、人口密度が高いことが成長に寄与していることが分かった。空間的な相関を表すパラメータ

の推定値は正でかつ統計的に有意であり、近隣自治体の一人当たり所得の成長率が似通ったものであることを確認した。

残差分散の不均一を考慮するため、既存研究の方法を用いて分散不均一を明示的に考慮し、その大きさを推定した。

SDMは、成長回帰分析における有用性が指摘されている一方で、国内外で実証研究に用いられている例は我々の知る限り皆無であり、その学術的意義は大きい。

## (3) 市町村合併による統計データの集計単位変更に対する空間計量経済モデルを用いた面補間法

いわゆる平成の大合併により、我が国の市町村単位の統計データの集計区分が大きく変わり、特に異時点のデータを用いた分析において、集計単位の統一に関する何らかの工夫が必要となる。分析の対象期間中に市町村合併が起こった場合、通常は、合併後のより大きな市町村を単位とした集計に基づき分析が行われる。しかしながら、この方法では、より細かい集計単位である合併前の市町村を単位としたデータが持っている情報の一部を失う可能性が高い。

本研究では、(2)の分析に際して、この集計単位の変更の問題に直面した。そこで、急遽、空間計量経済モデルを用いて、合併前の市町村を集計単位とした分析を行うためのデータ補間方法を提案し、その実用可能性について検討を行うこととした。

集計されたものとは異なる集計単位へのデータの変換は、一般に面補間 (Areal Interpolation) と呼ばれる。データ変換に伴う推計 (予測) 誤差を小さくするためには、データが持つ特性を十分に考慮した面補間を行う必要がある。多くの計数データの面補間に際しては、体積保存則を満足し、かつ空間従属性を考慮した手法は非常に限定的であり、特に、空間計量経済学を援用した手法は筆者らの知る限り見当たらない。

そこで本研究では、体積保存則及び空間従属性を考慮した、空間計量経済モデルに基づく新たな面補間法を提案した。ここでも、(1)同様、空間重み行列に基づく予測の問題に直面し、そのままでは、理論的に整合した補間方法とはならない。そこで、最初に補間地点も含む全地点についての空間重み行列を定義して空間計量経済モデルを構築し、欠損データへの統計学的な対処法として知られるEMアルゴリズムによるパラメータ推定により、理論的に整合した点補間を提案した。

次に、北関東3県（茨城県、栃木県、群馬県）のデータを用いた実証分析を行った。老年人口 [人] を例に、2007年度の116市町村区分を、1995年度の203市町村区分を集計単位とする面補間を行った結果、空間的相関

の考慮による補間精度の精度向上を確認し、提案手法の有用性を確認した。

研究者番号：60401303

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 9 件)

- ① Hajime Seya, Morito Tsutsumi and Yoshiaki Yamagata: Income convergence in Japan: A Bayesian spatial Durbin model approach, Economic Modelling (掲載決定), 査読有.
- ② 堤盛人・瀬谷創:「便益計測への空間ヘドニック・アプローチの適用」,『土木学会論文集』, Vol. 66, No. 2, pp. 178-196、2010, 査読有.
- ③ 堤盛人・村上大輔:「市町村合併による統計データの集計単位変更に対する空間計量経済モデルを用いた面補間法」,『応用地域学研究』, 第 15 号, pp. 23-35, 2010, 査読有.
- ④ Morito Tsutsumi and Hajime Seya: Hedonic Approaches based on Spatial Econometrics and Spatial Statistics: Application to Evaluation of Project Benefits, Journal of Geographical Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 357-380、2009, 査読有.
- ⑤ Morito Tsutsumi and Hajime Seya: Measuring the Impact of Large-Scale Transportation Project on Land Price Using Spatial Statistical Models, Papers in Regional Science, Vol. 87, Issue 3, pp. 385-401, 2008, 査読有.

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 瀬谷創・堤盛人・山形与志樹:「Weighted Average Least Squares Estimator for Spatial Econometric Model」, 応用地域学会, 12 月 4 日～5 日, 2010, 名古屋大学.
- ② 瀬谷創・堤盛人・山形与志樹:「空間的な依存性と異質性を考慮した新古典派成長モデルによる我が国の地域間所得格差分析」, 第 39 回土木計画学研究発表会, 6 月 13 日, 2009, 徳島大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堤 盛人 (TSUTSUMI MORITO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授  
研究者番号：70292886

### (2) 研究分担者

井上 亮 (INOUE RYO)

東北大学・大学院工学研究科・准教授